

2024年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】 集積センシングアクチュエータにおける温度フィードバックに関する技術検討

【整理番号】 24-22

【代表機関】 産業技術総合研究所

【調査研究代表者（氏名）】 岡本有貴

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】 東京大学：安永竣 助教

【TIA 外連携機関】 慶応義塾大学（産総研 R A 学生の所属先）

【報告書作成者】

岡本 有貴

【報告書作成年月日】

2025 年 3 月 31 日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

高エネルギーの光が照射される MEMS 素子の温度上昇は著しく、集積センサを利用した温度制御が重要となる。本研究では、将来の産業の根幹となる温度制御が技術について、①MEMS アクチュエータにおける定温制御による動作安定化の調査 ②MEMS センサアレイにおける定温制御による素子間の熱伝達の除去を行う。また、東大 d.lab や MEMS ファンドリ、共同利用設備を通じた回路設計試作ツールや産総研の持つ 8inchMEMS 加工設備を応用し、産官学協創研究の仕組みを構築し大型資金を呼び込むことを目的とした。

新規性・インパクト: MEMS アクチュエータにおいて、例えば MEMS スキャナなどではレーザー照射を受けるミラー面の温度上昇は著しく動作が影響を受けやすい。温度変化と走査角を同時に動的にフィードバックできれば、最大走査角・位相・共振周波数の変化を補正することが可能となり、超高速・広範囲・高精度な LiDAR への応用が可能となる。また、MEMS センサにおいて、例えばボロメータなどではセンサ間の仮想的断熱が可能となることで常圧での動作を可能とし、高感度化とパッケージングの大幅な簡易化ができる。

連携研究の必要性: MEMS アクチュエータ・センサを量産レベルの商品にする上で、動作の安定性・信頼性は最も重要な要素の 1 つであり、定温動作に必要な要素の MEMS 素子への集積化技術はいまだ確立されておらず重要な課題である。本調査研究においては、集積化 MEMS 研究を専門とする産学官の調査員がこうした現況を整理し産業界の現状を調査することで評価手法に対する課題の明確化を行い、制御指針を明確にすることで速やかな社会実装を可能とする取り組みとする。また、東大の高精細微細加工設備と産総研の大面積微細加工設備を用いることで、迅速に設計・試作・後加工を行え、連携活動の有意性を示せるだけでなく、新機能素子の実現へと成果へ繋げられる。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

本研究では産官学の研究員が本課題に関する技術動向を調査し課題の抽出を行うとともに、目的とする MEMS アクチュエータ・センサへの温度センサ集積化技術と温度制御技術の確立に向けて試行的研究を行った。

具体的には、産総研代表者が産業的にも重要と思われる MEMS 光スキャナとボロメータをアクチュエータとセンサの例として扱い、素子の温度上昇を計測できる構造と、温度を安定化するためのヒーターを集積化した素子を実現するための制御回路の設計・解析を行った。また、フィードバック制御に不可欠な回路要素については実際に東京大学 d.lab の CMOS 回路設計試作機能を通じて試作・設計を行い、産総研の MEMS・パッケージング設備においては CMOS ウェハへのひずみセンサ集積加工プロセスを確立した。共用使用施設設備を積極的に活用し、開発技術の速やかな普及促進を図ることができるよう努めた。

MEMS スキャナや MEMS ボロメータのような共振周波数で動作する素子では、その位相・周波数・振幅を精密に制御して動作させる必要がある。つまり、素子の高精度動作を実現するには素子内の動作確認用センサの信号をフィードバックして動作に反映させることで素子動作を安定させる必要がある。フィードバック駆動において特に重要な回路となるのは、PLL（フェーズロックループ）と呼ばれる回路で、入力した信号に追従した周波数・位相で動作を行うものである。数百 MHz 以上で動作する高周波回路では集積回路において頻繁に用いられるが、動作確認用センサの信号を取り入れ、数百 kHz 以下で動作する MEMS 素子に最適な PLL 回路は存在しなかった。

そこで本研究では、産総研側で SPICE シミュレータやディスクリート素子を用いて、回路設計に必要なパラメータを抽出した。東大側においては d.lab の CMOS 回路設計試作機能を通して Phenitec Semiconductor 社 0.6 μ m プロセスルールで数 kHz～数百 kHz で動作する PLL 回路の試作・設計を行った。また、フィードバック回路に必要な MEMS の振幅を検知用なひずみセンサを、産総研・東大の共用設備を用いることで、後加工で内蔵できるプロセス技術を確立した。ひずみセンサについては、従来後加工が難しかったガラス基板上へ集積を行い、力センサとして利用することで、査読有り論文誌[1]において発表を行った。

[1] R. Oda, Y. Okamoto, R. Nakashima, Y. Takei, H. Takahashi, “Transparent glass force plate with CrN strain gauges featuring a notch structure”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 35, No. 1, p. 015005, 2024.

【今後の活動予定】

本調査研究により、MEMS センサ向けフィードバック回路の設計指針を明確化することができた。さらに応用することで MEMS センサ・アクチュエータが利用できるフィールドの幅を広げる。また、ボトムアップ型手法により今後の「ウェルビーイング」社会を目指す高機能センシングアクチュエータの制御技術を明確化していく。これに基づいて、NEDO 未踏チャレンジ、JST さきがけ、JSPS 科研費のような公的資金の獲得または民間資金の獲得を目指す。